

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

⑤ Int. Cl. 3 = Int. Cl. 2

Int. Cl. 2:

F 24 D 11/02

F 24 J 3/04

⑯ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



DE 28 56 767 A 1

Offenlegungsschrift **28 56 767**

⑪

Aktenzeichen:

P 28 56 767.1

⑫

Anmeldetag:

29. 12. 78

⑬

Offenlegungstag:

17. 7. 80

⑯

Unionspriorität:

⑯ ⑯ ⑯

⑯

Bezeichnung:

Absorptions-Wärmepumpe veränderbarer Ausgangs-Wärmeleistung

⑯

Anmelder:

Alefeld, Georg, Prof. Dr., 8000 München

⑯

Erfinder:

gleich Anmelder

⑯

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE-OS 27 58 773

DE-OS 27 48 415

PATENTANWÄLTE
DR. PIETER V. BEZOLD
DIPL. ING. PETER SCHÜTZ
DIPL. ING. WOLFGANG HEUSLER
MARIA-THERESIA-STRASSE 22
POSTFACH 860668
D-8000 MUENCHEN 86

2856767

TELEFON 089/476906
476810
TELEX 522688
TELEGRAMM SOMBEZ

27. Dezember 1978
10468/Dr.v.B/Ro.

Professor Dr. Georg ALEFELD
Josef-Raps-Straße 3, 8000 München 40

Absorptions-Wärmepumpe veränderbarer Ausgangs-Wärmeleistung.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1.) Absorptions-Wärmepumpe, welche mit einem Betriebsstoff arbeitet, der mindestens einen verdampfbaren Arbeitsstoff und einen Absorberstoff enthält, mit

 einem Austreiber, der zum Austreiben von Arbeitsstoffdampf aus dem Betriebsstoff dient und einen Arbeitsstoffdampfauslaß, einen Absorberstoffauslaß und einen Betriebsstoffeinlaß hat;

 einer Heizvorrichtung für den Austreiber;

 einer Absorberstoffleitung, die an den Absorberstoffausgang angeschlossen ist;

 einer Absorberstoffentspannungsvorrichtung mit einem Eingang, der an die Absorberstoffleitung angeschlossen ist, und einem Ausgang;

030029/0122

einer ersten Arbeitsstoffdampfleitung, deren eines Ende an den Arbeitsstoffdampfauslaß des Austreibers angeschlossen ist;

einem Verflüssiger, der einen Arbeitsstoffdampfeingang, welcher mit dem anderen Ende der ersten Arbeitsstoffdampfleitung in Verbindung steht, einen Wärmetauscherteil zum Abführen von Kondensationswärme, sowie einen Auslaß für flüssigen Arbeitsstoff aufweist;

einem auf dem Auslaß des Verflüssigers in Verbindung stehenden Entspannungsventil zum Verringern des Druckes des flüssigen Arbeitsstoffes auf einen Wert, der niedrig im Vergleich zum Druck am Arbeitsstoffdampfauslaß des Austreibers ist;

einer an einen Ausgang des Entspannungsventils angeschlossenen Verbindungsleitung;

einem Verdampfer, der mit seinem Eingang an die Verbindungsleitung und mit seinem Ausgang an eine zweite Arbeitsstoffdampfleitung angeschlossen ist;

einem Absorber, welcher einen Wärmetauscherteil zur Entnahme von Nutzwärme, einen Arbeitsstoffdampfeinlaß, der mit der zweiten Arbeitsstoffdampfleitung verbunden ist, einen Absorberstoffeinlaß, der mit dem Ausgang der Absorberstoffentspannungsvorrichtung verbunden ist, und einen Betriebsstoffauslaß aufweist;

einer Fördervorrichtung mit einem Einlaß, der an den Betriebsstoffauslaß des Absorbers angeschlossen ist und mit einem Auslaß; und

einer an den Auslaß der Fördervorrichtung angeschlossenen Betriebsstoffleitung, die zum Betriebsstoffeinlaß des Austreibers führt, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizvorrichtung (12) zur Änderung der dem Austreiber (10) zugeführten Eingangswärmeleistung steuerbar ist, und daß zur Erhöhung der abgegebenen Nutzwärmeleistung ein Hilfskreislauf (74, 76 in Fig. 1; 108, 110, 118, 120, 122, 124, 116 in Fig. 2)

030029/0122

einschaltbar ist, der den Austreiber (10) und einen zur Entnahme von Nutzwärme dienenden Wärmetauscher (42 bzw. 102) enthält, dem Arbeitsstoffdampf als Wärmeträger vom Austreiber zugeführt ist und von dem aus der Arbeitsstoff in kondensierter Phase unter Umgehung des Verdampfers (30) zum Austreiber (10) zurückgeführt ist.

2.) Wärmepumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Hilfskreislauf eine den Verdampfer überbrückende Verbindung (74a, 74b oder 74c) zwischen der ersten Arbeitsstoffdampfleitung (14) und der zweiten Arbeitsstoffdampfleitung (40) enthält und daß der Absorber (42) als Wärmetauscher des Hilfskreislaufes dient.

3.) Wärmepumpe nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindung (74a) direkt zwischen die erste Arbeitsstoffdampfleitung (14) und die zweite Arbeitsstoffdampfleitung (40) geschaltet ist und ein Regelventil (76a) enthält; daß in die erste Arbeitsstoffdampfleitung zwischen dem Anschluß der Verbindung (74a) und dem Kondensator (16) ein erstes Absperrventil (70a) geschaltet ist und daß in die zweite Arbeitsstoffdampfleitung (40) zwischen dem Anschluß der Verbindung (74a) und dem Verdampfer (30) ein zweites Absperrventil (72) geschaltet ist.

4.) Wärmepumpe nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindung (74b) ein Absperrventil (76b) enthält und zwischen den Auslaß des Entspannungsventils (26) und den Arbeitsstoffdampfeinlaß des Absorbers (42) geschaltet ist, daß ein zweites Absperrventil (70b) vor den Eingang des Verdampfers (30) geschaltet ist und daß in die zweite Arbeitsstoffdampfleitung (40) zwischen dem Anschluß der Verbindung (74a) und dem Verdampfer (30) ein zweites Absperrventil (72) geschaltet ist.

030029/0122

5.) Wärmepumpe nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindung (74c) ein Regelventil (76c) enthält und zwischen die den Ausgang des Verdampfers (16) mit dem Entspannungsventil (26) verbindende Leitung (18) und die zweite Arbeitsstoffdampfleitung (40) geschaltet ist, daß in diese Leitung (18) zwischen dem Anschluß der Verbindung (74c) und dem Verdampfer ein absperrbares Ventil (70c oder 26) geschaltet ist, und daß in die zweite Arbeitsstoffdampfleitung (40) zwischen dem Anschluß der Verbindung (74a) und dem Verdampfer (30) ein zweites Absperrventil (72) geschaltet ist.

6.) Wärmepumpe nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Verflüssiger (16) und dem Entspannungsventil (26) der Reihe nach ein Wärmetauscher (20) und ein Vorratsgefäß (22) angeordnet sind und daß das Entspannungsventil (26) als das absperrbare Ventil dient.

7.) Wärmepumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Betriebsstoff mindestens zwei Arbeitsstoffe enthält.

8.) Wärmepumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Betriebsstoff mindestens zwei Arbeitsstoffe enthält, von denen, bei gegebenem Druck, ein erster bei höherer und ein zweiter bei niedrigerer Temperatur kondensieren, und daß der Hilfskreislauf eine mit dem Arbeitsstoffdampfauslaß (14) des Austreibers (10) verbundene und von Arbeitsstoffdampfgemisch durchströmte Einrichtung (100) enthält, in der ein Wärmetauscher teil (102) angeordnet ist, an dem ein Teil des Arbeitsstoffdampfgemisches unter Abgabe von Nutzwärme kondensiert; und daß die Einrichtung (100) über eine Rückflußleitungsanordnung für kondensiertes Arbeitsstoffgemisch, die ein Vorratsgefäß (110) für das kondensierte Arbeitsstoffgemisch und ein hinter diesem angeordnetes Ventil (124) enthält mit einem weiteren Einlaß (116) des Austreibers (10) verbunden ist.

030029/0122

9.) Wärmepumpe nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (100) in Strömungsrichtung des Arbeitsstoffdampfes gesehen hinter dem Wärmetauscher teil (102) eine Kühlschlaufe (56) zur Arbeitsstoffdampfrektifizierung enthält.

10.) Wärmepumpe nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Ventil (124) in der Rückleitungsanordnung für den zweiten Arbeitsstoff ein Regelventil ist.

11.) Wärmepumpe nach Anspruch 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Vorratsgefäß mit mindestens zwei Auslaßleitungen (118, 120) verbunden ist, die jeweils ein Ventil enthalten und auf verschiedenen Niveaus des Vorratsgefäßes münden.

12.) Wärmepumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem Wärmetauscher der einerseits in die Verbindung zwischen dem Absorberstoffauslaß des Austreibers und die Absorberstoff-Entspannungsvorrichtung und andererseits in die Verbindung zwischen der Fördervorrichtung und dem Betriebsstoffeinlaß des Austreibers geschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens einer der Teile des Wärmetauschers (44) durch eine ein Ventil (80 oder 84) enthaltende Überbrückungsleitung (88 bzw. 82) überbrückbar ist.

27. Dezember 1978
10468/Dr.v.B/Ro.

Professor Dr. Georg ALEFELD
Josef-Raps-Straße 3, 8000 München 40

Absorptions-Wärmepumpe veränderbarer Ausgangs-Wärmeleistung.

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Absorptions-Wärmepumpe gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus Gründen der Energieeinsparung werden für Heizzwecke, insbesondere Gebäudeheizung, in zunehmendem Maße Wärmepumpen verwendet. Es gibt bekanntlich Kompressor-Wärmepumpen und Absorptions-Wärmepumpen. Absorptions-Wärmepumpen nützen die zur Verfügung stehende Primärenergie wesentlich besser aus als Kompressor-Wärmepumpen, da die Verluste wegfallen, die bei der Umsetzung der normalerweise fossilen Primärenergie in die zum Antrieb der Wärmepumpe erforderliche mechanische Energie entstehen. Kompressor-Wärmepumpen haben andererseits den Vorteil, daß sich die abgegebene Ausgangs-Wärmeleistung mittels der Antriebsleistung des Kompressors verhältnismäßig einfach ändern läßt.

Ein stark wechselnder Wärmebedarf, wie er z.B. bei einer Gebäudeheizung in Abhängigkeit von der Tageszeit und Jahreszeit auftritt, stellt besonders bei Heizanlagen, die eine Wärmepumpe enthalten, ein schwierig zu lösendes Problem dar.

030029/0122

An eine Heizanlage wird im allgemeinen die unabdingbare For-derung gestellt, daß sie in der Lage sein muß, den Wärmebedarf auch unter den ungünstigsten Bedingungen, die zu erwarten sind, zu decken. Bei Wärmepumpen-Heizanlagen ist es nämlich nicht zweckmäßig, die Wärmepumpe selbst für den maximal zu erwarten-den Wärmebedarf und die tiefsten Außentemperaturen auszulegen und die Ausgangsleistung bei nicht maximalem Wärmebedarf zu drosseln (DE-PS 718 956), da dies nicht nur hohe Anlagekosten mit sich bringt, sondern auch zur Folge hat, daß die Wärme-pumpe im weitaus größten Teil ihrer Betriebsdauer mit redu-ziertem Wirkungsgrad arbeitet.

Zur Lösung dieser Schwierigkeit ist es bekannt, in einer Heizanlage außer einer Wärmepumpe auch noch eine konventionelle Heizvorrichtung, z.B. ein mit einem Öl- oder Gasbrenner be-heizter Kessel, vorzusehen und die Wärmepumpe für eine solche Leistung und eine solche minimale Außentemperatur auszulegen, daß der Wärmebedarf während des größeren Teiles der Heizperiode durch die Wärmepumpe gedeckt werden kann und nur bei hohem Wärmebedarf und/oder tiefen Außentemperaturen der Wärmebedarf durch die konventionelle Heizvorrichtung gedeckt werden muß. Diese Lösung hat nicht nur den Nachteil hoher Anlagekosten, sie erfordert auch eine Umstellung der Heizanlage beim Über-gang vom Betrieb mit der Wärmepumpe als Wärmequelle auf den Betrieb mit der direkten Öl- oder Gasbrennerheizung als Wärme-quelle.

Selbstverständlich ist auch ein Mischbetrieb möglich, d.h. ein gleichzeitiger Betrieb der Wärmepumpe und der Zusatz-heizung. Diese Lösung hat ebenfalls den Nachteil hoher Anlage-kosten, da es nicht sinnvoll ist, die Wärmepumpe für einen Betrieb bei den tiefsten Außentemperaturen, die zu erwarten sind, auszulegen und man daher die Zusatzheizung für den maxi-malen Wärmebedarf unter den ungünstigsten Verhältnissen aus-legen muß.

030029/0122

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine konventionelle Absorber-Wärmepumpe so auszustalten, daß sie selbst zur Erhöhung der abgegebenen Nutzwärmeleistung vom Wärmepumpenbetrieb auf vollständigen oder teilweisen Heizbetrieb umgeschaltet werden kann.

Unter "Heizbetrieb" soll dabei ein Betrieb verstanden werden, bei dem die dem Absorber zugeführte Wärmeleistung durch einen Wärmeträger und einen Wärmetauscher direkt dem Wärmeträger einer zugehörigen Heizungsanlage zugeführt wird, also beispielsweise Luft im Falle einer Luftzentralheizung und Wasser im Falle einer Wasserzentralheizung.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im Anspruch 1 gekennzeichnete Wärmepumpe gelöst.

Die Unteransprüche betreffen Weiterbildungen und vorteilhafte Ausgestaltungen der Wärmepumpe gemäß der Erfindung.

Im Gegensatz zum Stand der Technik ist die Wärmepumpe gemäß der Erfindung so ausgelegt, daß sie als Wärmepumpe den Wärmebedarf bei Bedingungen (Wärmebedarf, Außentemperatur) zu decken vermag, wie sie während eines großen Teiles der Betriebszeit oder Heizperiode herrschen, und sie ist ferner so ausgebildet, daß sie selbst auf einen ausschließlichen oder teilweisen Heizbetrieb umgeschaltet werden kann, um während einer Periode den Wärmebedarf zu decken, in der der Wärmebedarf größer ist, als er durch einen reinen Wärmepumpenbetrieb gedeckt werden kann und/oder die Außentemperaturen für den Wärmepumpenbetrieb zu niedrig sind. Die Anlagekosten lassen sich dadurch erheblich reduzieren.

Die Wärmepumpe gemäß der Erfindung hat den wesentlichen Vorteil, daß beim Heizbetrieb die gleiche Heizvorrichtung und

030029/0122

die gleichen beheizten Flächen, beim reinen Heizbetrieb sogar auch die gleichen Wärmetauscherflächen wie beim Wärmepumpenbetrieb verwendet werden können. Außer den für eine konventionelle Absorptionswärmepumpe nötigen Anlageteilen werden nur wenige zusätzliche Vorrichtungen, wie Leitungen und Ventile, benötigt, so daß die erhöhte Wärmeleistung mit sehr geringen zusätzlichen Anlagekosten erzielt wird.

Ein großer Vorteil der Absorptionswärmepumpe gemäß der Erfindung besteht weiterhin darin, daß der Übergang vom Wärmepumpenbetrieb auf den reinen Heizbetrieb und umgekehrt in kürzester Zeit, praktisch innerhalb von Minuten, erfolgen kann. Dies ermöglicht die Vorteile der vorliegenden Wärmepumpe voll auszunutzen, da man die Betriebsart beispielsweise schnell zwischen geringer Wärmeleistung während der Nacht, hoher Wärmeleistung am Morgen und wieder verringter Wärmeleistung am Tage, wenn das Gebäude durch Sonneneinstrahlung zusätzlich erwärmt wird, umschalten kann.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung von drei Varianten einer Absorptionswärmepumpe gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung, und

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Absorptionswärmepumpe gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung.

Die in Fig. 1 dargestellte Wärmepumpe enthält einen konventionellen Wärmepumpenteil, der in üblicher Weise aufgebaut ist und als erstes beschrieben werden soll.

030029/0122

Der konventionelle Wärmepumpenteil enthält einen Austreiber 10, der durch eine Heizvorrichtung 12 beheizbar ist, z.B. durch einen Gas- oder Öl brenner oder irgend eine andere zur Verfügung stehende Wärmequelle. Im Austreiber befindet sich ein Betriebsstoff, der mindestens einen Arbeitsstoff und einen Absorberstoff enthält. Der Arbeitsstoff kann beispielsweise NH_3 und der Absorberstoff H_2O sein, in diesem Falle ist der Betriebsstoff dann also eine Ammoniak/Wasser-Lösung. Es sind auch andere Betriebsstoffsysteme bekannt und können verwendet werden.

Vom Austreiber 10 wird der ausgetriebene Arbeitsstoffdampf, der unter einem relativ hohen Druck steht, über eine erste oder Hochdruck-Arbeitsstoffdampfleitung 14 einem Kondensator oder Verflüssiger 16 zugeführt. Die Begriffe "relativ hoch" und "Hochdruck" beziehen sich dabei auf die Druckverhältnisse in der betreffenden Wärmepumpe, insbesondere auf den Druck in einem "Niederdruckteil", auf den unten noch eingegangen wird. Im Verflüssiger wird dem Arbeitsstoffdampf Wärme Q'_1 entzogen, die als Nutzwärme verwendet werden kann, und der Arbeitsstoff dadurch verflüssigt. Die Temperatur im Verflüssiger 16 ist im wesentlichen durch den Druck im Austreiber 10 bestimmt. Der flüssige Arbeitsstoff fließt dann über eine Leitung 18 und einen weiteren Wärmetauscher 20, in dem er durch kalten Arbeitsstoffdampf gekühlt wird (wird noch erläutert) in einen Sammelbehälter 22. Vom Sammelbehälter 22 strömt der flüssige Arbeitsstoff über eine Leitung 24 und ein Entspannungsventil 26 sowie eine Leitung 28 in einen Verdampfer 30, in dem der durch das Entspannungsventil 26 auf einen relativ niedrigen Druck entspannte flüssige Arbeitsstoff durch Zuführung von Wärme Q_0 aus der Umgebung in Arbeitsstoffdampf relativ niedrigen Druckes übergeführt wird. Der Verdampfer 30 ist als Wärmetauscher ausgebildet, dessen Wärme-eingangsseite z.B. durch ein Gebläse mit Umgebungsluft oder

030029/0122

über eine Pumpe 32, an die eine Heizschlange 34 angeschlossen ist, Wasser übergeführt werden kann. Der relativ kalte Arbeitsstoffdampf wird vom Verdampfer 30 über eine Leitung 36 einer Heizschlange 38 des Wärmetauschers 20 zugeführt, in der er durch den flüssigen Arbeitsstoff vom Kondensator 16 erwärmt wird. Der erwärmte Arbeitsstoffdampf relativ niedrigen Druckes strömt dann durch eine zweite oder Niederdruck-Arbeitsstoffdampfleitung 40 in einen Absorber 42. Dem Absorber 42 wird ferner über eine Leitung 47, einen Wärmetauscher 44, ein Entspannungsventil 46 sowie eine Leitung 48 flüssiger, an Arbeitsstoff verarmter Betriebsstoff, also im wesentlichen Absorberstoff, zugeführt. Der Absorberstoff absorbiert im Absorber 42 den über die Leitung 40 zugeführten erwärmten Arbeitsstoffdampf, wobei Absorptionswärme Q_1 frei wird, die ebenfalls als Nutz- oder Ausgangswärme der Wärmepumpe zur Verfügung steht und z.B. durch eine Wärmetauscher schlange 50 an eine Wasserzentralheizungsanlage (oder über Wärmetauscherrippen an einen Luftstrom in einer Luftheizungsanlage) abgegeben wird. Der mit Arbeitsstoff angereicherte Absorberstoff wird dann durch eine Pumpe 52 über eine Leitung 54, eine Leitung 58, den anderen Teil des Wärmetauschers 44 und eine Leitung 60 zurück in den Austreiber 12 gefördert. Zwischen die Leitungen 54 und 58 kann, falls erforderlich, eine Kühl schlange 56 eingeschaltet sein, um in bekannter Weise eine Rektifikation des im Austreiber entstehenden Dampfes, also eine möglichst gute Trennung des Arbeitsstoffdampfes von Absorberstoffdampf, der an der Kühl schlange 56 kondensiert, zu bewirken. Der Durchsatz des Betriebsstoffes durch die Kühl schlange 56 kann durch einen Dreiwegehahn 62 geregelt werden.

Die Wärmetauscher-Ausgänge 16a und 50 des Verflüssigers 16 bzw. Absorbers 42 können je nach der Konstruktion der angeschlossenen Heizungsanlage parallel oder in Reihe geschaltet sein oder unabhängige Verbraucher mit Wärme speisen und können auch in bekannter Weise zur Warmwasserbereitung dienen.

030029/0122

Der oben beschriebene Teil der vorliegenden Wärmepumpe ist hinsichtlich Aufbau und Arbeitsweise (mit Ausnahme der Anordnung des Sammelbehälters 22 hinter dem Wärmetauscher 20) im wesentlichen bekannt, so daß sich eine genauere Erläuterung erübrigt.

Der Wärmepumpenteil der Wärmepumpe gemäß der Erfindung ist nun im Gegensatz zu gewissen bekannten Wärmepumpen nicht so ausgelegt, daß er den maximal zu erwartenden Wärmebedarf bei allen zu erwartenden Außentemperaturen (d.h. den Temperaturen, mit denen Q_0 zur Verfügung steht) zu decken vermag. Zur Vermeidung der hohen Anlage- bzw. Investitionskosten, die einer solchen Lösung anhaften, ist der Wärmepumpenteil der Wärmepumpe gemäß der Erfindung vielmehr so ausgelegt, daß er den Wärmebedarf während des überwiegenden Teils der Heiz- bzw. Betriebsperiode zu decken vermag, nicht jedoch den Spitzenbedarf, der im Vergleich zur gesamten Heiz- oder Betriebsperiode nur während verhältnismäßig kurzer Zeitspannen und nicht sehr häufig auftritt.

Zur Deckung des Spitzenbedarfes und/oder des Wärmebedarfes bei zu niedrigen Außentemperaturen ist die vorliegende Wärmepumpe so umschaltbar, daß sie ganz oder teilweise im direkten Heizbetrieb (im Gegensatz zum Wärmepumpenbetrieb) arbeitet, d.h., daß die dem Austreiber 10 von der Heizvorrichtung 12 zugeführte Wärme durch einen Wärmeträger ganz oder teilweise einem die Nutzwärme abgebenden Wärmetauscher zugeführt wird, von dem aus der Wärmeträger dann ohne den Verdampfer 34 zu durchlaufen wieder in den Austreiber 10 zurückgeleitet wird. Ein weiteres wesentliches Merkmal der Erfindung besteht darin, daß für den Heizbetrieb Arbeitsstoffdampf als Wärmeträger verwendet wird (also nicht der flüssige Absorberstoff, was im Prinzip auch möglich wäre, aber gegenüber der Verwendung von Arbeitsstoffdampf als Wärmeträger gewisse Nachteile hat).

030029/0122

Die oben kurz dargelegte prinzipielle Konzeption kann auf zweierlei Weise realisiert werden:

Bei einer ersten Ausführungsform der Absorptionswärmepumpe gemäß der Erfindung ist eine Umschaltung zwischen Wärmepumpenbetrieb und reinem Heizbetrieb vorgesehen.

Bei der zweiten Ausführungsform der Erfindung ist die Wärmepumpe zwischen reinem Wärmepumpenbetrieb und gemischem Wärmepumpen/Heizbetrieb umschaltbar.

Es ist schließlich auch möglich, die beiden Ausführungsformen der Erfindung in einer einzigen Wärmepumpe zu realisieren, so daß diese dann zwischen drei Betriebszuständen umschaltbar ist, nämlich erstens reinem Wärmepumpenbetrieb (in dem die abgegebene Wärmeleistung in konventioneller Weise geregelt werden kann, z.B. durch eine regelbare Überbrückung des Absorbers); zweitens gemischem Wärmepumpen/Heizbetrieb und drittens reinem Heizbetrieb.

Anhand von Fig. 1 sollen nun drei Varianten der ersten Ausführungsform der Erfindung erläutert werden, also der Ausführungsform, bei der eine Umschaltung der Wärmepumpe zwischen Wärmepumpenbetrieb und reinem Heizbetrieb vorgesehen ist.

Bei dieser Ausführungsform der Erfindung ist, kurz gesagt, im Heizbetrieb der Hochdruckteil mit dem Niederdruckteil verbunden. Der im Austreiber unter relativ hohem Druck erzeugte Arbeitsstoffdampf wird je nach Wärmebedarf mehr oder weniger entspannt und direkt in den Absorber geleitet und gibt dort seinen Wärmeinhalt als Nutzwärme an den Wärmetauscherteil des Absorbers ab. Die abgegebene Nutzwärmeleistung läßt sich durch Veränderung der Eingangswärmeleistung steuern, die die hinsichtlich ihrer Leistung steuerbare Heizvorrichtung an den Austreiber abgibt, und durch Steuerung der Druck-

030029/0122

differenz zwischen Hoch- und Niederdruckteil. Die Temperatur der vom Absorber-Wärmetauscher abgegebenen Nutzwärme lässt sich bis zu etwa der Austreibertemperatur praktisch beliebig wählen, sie ist umso höher, je höher der Druck im Absorber wird. Die Temperatur im Austreiber wird im allgemeinen durch Regelung der Heizvorrichtung im wesentlichen konstant gehalten werden.

Bei der in Fig. 1 dargestellten ersten Variante dieser Ausführungsform der Erfindung ist in der Hochdruck-Arbeitsstoffdampfleitung 14 und in der Niederdruck-Arbeitsstoffdampfleitung 40 je ein Absperrventil 70a bzw. 72 vorgesehen. Der zwischen dem Austreiber 10 und dem Absperrventil 70a gelegene Teil der Hochdruck-Arbeitsstoffdampfleitung 14 ist mit dem zwischen dem Absperrventil 72 und dem Absorber 42 gelegenen Teil der Niederdruck-Arbeitsstoffdampfleitung 40 durch eine Überbrückungsleitung 74a verbunden, die ein Regelventil 76a enthält.

Die Heizvorrichtung 12, d.h. die dem Austreiber 10 zugeführte Eingangswärmeleistung ist regelbar, z.B. kontinuierlich oder durch eine Zweipunktregelung.

Beim Heizbetrieb kann die Kühlschlange 56 vorteilhafterweise durch Umschalten des Dreiwegeventils 62 überbrückt werden. Vorzugsweise sind jedoch eine Überbrückungsleitung 78 mit einem Absperrventil 80, durch die die Kühlschlange 56 und der mit dieser in Reihe liegende Teil des Wärmetauschers 44 überbrückbar sind und eine Überbrückungsleitung 82 mit einem Absperrventil 84, durch die der andere Teil des Wärmetauschers 44 überbrückbar ist, vorgesehen, so daß in vorteilhafter Weise die Druckabfälle in der Kühlschlange 56 und dem Wärmetauscher 44 vermieden werden und dadurch die Antriebsleistung der Pumpe 52 verringert werden kann.

030029/0122

Wenn der Wärmebedarf die Leistungsfähigkeit des Wärmepumpenteiles übersteigt, werden die Absperrventile 70a und 72 geschlossen und das Regelventil 76a wird mindestens zum Teil geöffnet, so daß der Arbeitsstoffdampf vom Austreiber über die Leitungen 14, 74a und 40 direkt in den Absorber 42 eingespeist wird. Ferner wird das Entspannungsventil 46 entsprechend dem erforderlichen Flüssigkeitsdurchsatz teilweise geöffnet und geregelt. Es ist ferner zweckmäßig, das Entspannungsventil 26 zu schließen, damit der flüssige Arbeitsstoff aus dem Vorratsgefäß 22 nicht in den Verdampfer gelangen kann. Die Anordnung des Sammelbehälters hinter dem Wärmetauscher 20 hat den Vorteil, daß ein Vorrat an gekühltem flüssigen Arbeitsstoff zur Verfügung steht, wenn von Heizbetrieb auf Wärmepumpenbetrieb zurückgeschaltet wird. Im Absorber 42 wird der Wärmeinhalt des Arbeitsstoffdampfes frei, wobei sich wegen des höheren Druckes eine höhere Temperatur einstellt, so daß am Wärmetauscherausgang 50 eine erhöhte Wärmeausgangsleistung zur Verfügung steht, die durch entsprechende Erhöhung der durch die Heizvorrichtung 12 zugeführte Eingangswärmeleistung erheblich über die Wärmeleistung des Wärmepumpenteils gesteigert werden kann.

Wenn die Überbrückungsleitungen 78 und/oder 82 vorgesehen sind, können ferner die in diesen angeordneten Absperrventile 80 und 84 geöffnet werden, um die Antriebsleistung der Pumpe 52 zur Energieeinsparung herabzusetzen. Ein Öffnen der Absperrventile 80 und 84 ermöglicht außerdem eine weitere Steigerung der Ausgangswärme Q_1 , da der flüssige Absorberstoff dann heiß in den Absorber 42 gelangt. Das Rückschalten auf reinen Wärmepumpenbetrieb wird dadurch allerdings etwas verlangsamt.

Die Temperatur im Absorber 42 kann über den Durchsatz des Arbeitsstoffdampfes, also mittels des Regelventiles 76a,

030029/0122

geregelt werden. Gleichzeitig wird die Einstellung des Ven-
tils 46 entsprechend geregelt, z.B. so, daß der Flüssigkeits-
stand im Austreiber 10 in einem bestimmten Bereich bleibt.

Wenn der Wärmebedarf wieder soweit absinkt, daß er durch den Wärmepumpenteil gedeckt werden kann, werden die Absperr-
ventile 70a und 72 wieder geöffnet, das Regelventil 76a wird
geschlossen, und die Ventile 26 und 46 werden in die für den
Wärmepumpenbetrieb erforderliche Drosselstellung gebracht, so
daß der Wärmepumpenteil wieder als konventionelle Wärmepumpe
arbeiten kann. Der Übergang vom Heizbetrieb in den Wärme-
pumpenbetrieb und umgekehrt erfordert nur sehr kurze Zeit,
insbesondere wenn die Ventile 80 und 84 nicht geöffnet worden
waren.

Bei der zweiten Variante dieser Ausführungsform der Er-
findung ist in die Leitung 28 ein Absperrventil 70b einge-
schaltet und der Teil der Leitung 28, der sich zwischen dem
Entspannungsventil 26 und dem Absperrventil 70b befindet, ist
über eine Überbrückungsleitung 74b, die ein Ventil 76b enthält,
mit der Niederdruck-Arbeitsstoffdampfleitung 40 verbunden. Das
Ventil 72 ist ebenfalls vorhanden.

Die Überbrückungsleitungen 78 und 82 mit den Ventilen 80
und 84 können vorteilhafterweise ebenfalls vorgesehen sein.

Diese zweite Variante hat den Vorteil, daß außer der Über-
brückungsleitung 74b nur drei einfache Absperrventile 70b, 72
und 76b benötigt werden, daß die Regelung durch das sowieso
schon vorhandene Entspannungsventil 26, das als Regelventil
ausgebildet ist, erfolgen kann. Bei dieser Variante bleibt
der Verflüssiger 16 in den Weg des Arbeitsstoffdampfes einge-
schaltet.

Beim Wärmepumpenbetrieb sind die Absperrventile 70b und 72 geöffnet und das Absperrventil 76b geschlossen. Beim Übergang zum Heizbetrieb werden die Absperrventile 70b und 72 geschlossen und das Absperrventil 76b geöffnet, und Arbeitsstoffdampf, der unter relativ hohem Druck steht, wird geregelt über das Regelventil 26 in den Absorber 42 eingespeist. Im übrigen arbeitet diese Variante wie die zuerst erläuterte Variante.

Bei der dritten Variante ist ein Absperrventil 70c in der Leitung 18 vorgesehen, die den Verflüssiger 16 mit dem Wärmetauscher 20 verbindet. Ferner ist der sich zwischen dem Verflüssiger 16 und dem Absperrventil 70c befindende Teil der Leitung 18 mit der Niederdruck-Arbeitsstoffdampfleitung 40 durch eine Überbrückungsleitung 74c verbunden, die ein Regelventil 76c enthält. Das Ventil 72 ist ebenfalls vorhanden. Das Ventil 70c kann entfallen, wenn beim Heizbetrieb das Ventil 26 geschlossen wird. In diesem Fall kann flüssiger Arbeitsstoff, der unter Umständen bei niedriger Rücklauftemperatur des den Wärmetauscher teil 16a durchströmenden Wärmeträgermediums durch partielle Kondensation des Arbeitsstoffdampfes im Verflüssiger 16 entsteht, in das Vorratsgefäß 22 fließen. Er steht dann beim Rückschalten auf Wärmepumpenbetrieb sofort für die Verdampfung im Verdampfer 30 zur Verfügung.

Die Überbrückungsleitungen 78 und 82 mit den Absperrventilen 80 und 84 können ebenfalls vorgesehen sein.

Bei allen Varianten lässt sich die Heizleistung durch Öffnen der Absperrventile 80 und 84 in den Überbrückungsleitungen 78 bzw. 82 weiter steigern. Außer der Verringerung der Druckabfälle und damit wesentlichen Verringerung der Antriebs-

leistung der Pumpe 52 bewirkt die Überbrückung des Wärmetauschers 44, daß der an Arbeitsstoff verarmte Betriebsstoff heiß in den Absorber 42 gelangt und dadurch ebenfalls nennenswert zum Wärmetransport beiträgt.

Als Betriebsstoffsysteme können z.B. verwendet werden: $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$; NH_3 /wässrige Lösungen von Salzen hoher Löslichkeit, wie LiBr ; LiI , LiNO_3 , ZnI_2 , ZnCl_2 , NaSCN ; ferner CH_3NH_2 mit den vorstehenden Lösungen; CH_3OH /Salzlösungen wie oben usw.

In Fig. 1 ist schließlich noch eine Überbrückungsleitung 88 mit einem Regelventil 90 dargestellt, mit dem die Leistung des Wärmepumpenteils in bekannter Weise herabgesetzt und damit geregelt werden kann.

In Fig. 2 ist eine zweite Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Sie enthält einen Wärmepumpenteil, der dem der Ausführungsform gemäß Fig. 1 im wesentlichen entspricht, so daß für entsprechende Bauteile die gleichen Bezugszeichen verwendet worden sind.

Die Ausführungsform gemäß Fig. 2 ermöglicht eine Umschaltung zwischen einem reinen Wärmepumpenbetrieb und einem gemischten Wärmepumpen/Heizbetrieb, was auf die folgende Weise ermöglicht wird:

Erstens wird ein Betriebsstoff verwendet, der einen Absorberstoff und mindestens zwei verschiedene Arbeitsstoffe enthält, die chemisch nicht miteinander reagieren und wesentlich verschiedene Dampfdrücke aufweisen. Dies wird im folgenden am Beispiel eines Betriebsstoffes mit zwei Arbeitsstoffen erläutert.

030029/0122

Der Arbeitsstoff mit dem höheren Dampfdruck, also der niedrigeren Kondensationstemperatur bei gegebenem Druck soll im folgenden als Arbeitsstoff I bezeichnet werden während der Arbeitsstoff mit dem niedrigeren Dampfdruck, der bei dem gegebenen Druck eine höhere Kondensationstemperatur hat, als Arbeitsstoff II bezeichnet werden soll. Der Dampfdruck des Arbeitsstoffes II soll um den Faktor 2 bis 25, vorteilhafterweise 3 bis 20, kleiner sein als der Dampfdruck des Arbeitsstoffes I. Da eine völlige Trennung der beiden Arbeitsstoffe nicht praktikabel ist und auch nicht angestrebt wird, arbeitet die Wärmepumpe auch im Wärmepumpenbetrieb mit einem Arbeitsstoffgemisch, dessen Hauptbestandteil der Arbeitsstoff I ist und dessen Gehalt an Arbeitsstoff II vorteilhafterweise so gewählt ist, daß im Verdampfer in dessen ganzem Betriebstemperaturbereich eine vollständige Verdampfung des Arbeitsstoffgemisches stattfindet.

Es ist zwar bekannt, Arbeitsstoffgemische bei Kompressions-Kältemaschinen zu verwenden, um den Arbeitsstoffdurchsatz durch den Kompressor bei konstanter Kompressor-Antriebsdrehzahl entsprechend dem Kältebedarf regeln zu können (siehe z.B. die US-PS 29 38 362); Absorptions-Wärmepumpen enthalten jedoch keinen Kompressor, so daß eine entsprechende Leistungsregelung hier nicht möglich ist.

Das in Fig. 2 dargestellte Ausführungsbeispiel der Absorptions-Wärmepumpe gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung enthält einen Wärmepumpenteil, der ebenso ausgebildet ist, wie die dritte Variante der Ausführungsform gemäß Fig. 1; für entsprechende Teile sind daher gleiche Bezugszeichen verwendet worden und auf eine nochmalige Erläuterung dieses Teiles wird verzichtet.

030029/0122

In die Hochdruck-Arbeitsstoffdampfleitung 14 ist eine Einrichtung 100 eingeschaltet, die als "Vorverflüssiger" bezeichnet werden soll. Der Vorverflüssiger enthält die zur Rektifikation dienende Kühlslange 56 sowie einen Wärmetauscher teil 102 z.B. eine mit Rippen versehene Rohrschlange, die vorteilhafterweise das in 16a und/oder 50 erwähnte Wärmetauschermedium weiter erwärmt. Der Wärmetauscher teil 102 kann durch einen üblichen Dreiwege-Hahn 106 mehr oder weniger überbrückt werden.

Der Vorverflüssiger 100 ist unten mit einer Flüssigkeitsauslaßleitung 108 verbunden, die zu einem Vorratsgefäß 110 führt. Ferner ist die Leitung 108 über eine Rücklaufleitung 112 mit einem Einlaß 116 des Austreibers 10 verbunden. Das Vorratsgefäß 110 ist über zwei Leitungen 118 und 120, die auf verschiedenen Niveaus des Vorratsgefäßes an diesem ansetzen und jeweils ein Ventil 122 bzw. 124 enthalten, mit dem Einlaß 116 verbunden.

Im normalen Wärmepumpenbetrieb befindet sich im Vorratsgefäß 110 ein Gemisch, das wesentlich reicher an Arbeitsstoff II ist als das im Wärmepumpenkreislauf 10 - 16 - 30 - 42 zirkulierende Arbeitsstoffgemisch und die Ventile 122 und 124 sind geschlossen. Der Wärmepumpenteil arbeitet dann wie eine normale Wärmepumpe mit einem an Arbeitsstoff I reichen Arbeitsstoffgemisch. Der an der Kühlslange 56 kondensierende Absorberstoff fließt über die Rücklaufleitung 112 zurück, da das Vorratsgefäß 110 dann gefüllt ist. Das Vorratsgefäß 110 kann auch einfach durch einen unteren Teil des Vorverflüssigers gebildet werden, die Leitung 112 bildet dann eine in einer gewissen Höhe ansetzende Überlaufleitung.

030029/0122

Wenn die Wärmeleistung des Wärmepumpenteiles nicht mehr ausreicht, wird das Ventil 122 geöffnet, so daß ein Teil des im Vorratsgefäß 110 enthaltenen, an Arbeitsstoff II reichen Gemisches in den Austreiber 10 fließt. Außerdem wird der Wärmetauscherteil 102 durch entsprechendes Verstellen des Dreiegehahnes 106 teilweise oder ganz in den Kreislauf des Wärmeträgers in der Leitung 104 eingeschaltet. Infolge der nun höheren Konzentration an Arbeitsstoff II im Arbeitsstoffdampf tritt am Wärmetauscherteil 102 eine Kondensation bei einer Temperatur ein, die höher ist als die Temperatur im Verflüssiger 16. Die Heizleistung der Heizvorrichtung 12 wird entsprechend erhöht, um den erhöhten Eingangswärmebedarf zu decken. Die Arbeitsweise des Wärmepumpenteils wird durch das vermehrte Zusetzen des Arbeitsstoffes II praktisch nicht geändert, da die Zusammensetzung des zum Verflüssiger 16 gelangenden Arbeitsstoffgemisches durch den Wärmetauscherteil 102 und die in Strömungsrichtung folgende Kühlenschlange 56 im wesentlichen konstant gehalten wird.

Bei weiter steigendem Wärmebedarf wird das Ventil 124 geöffnet, so daß nun der ganze Arbeitsstoff II als Wärmeträger zwischen dem Austreiber 10 und dem Wärmetauscherteil 102 zur Verfügung steht.

Das Ventil 124 ist vorzugsweise als Regelventil ausgebildet (die Leitung 120 und das Ventil 122 können dann entfallen) und zur Regelung des Durchsatzes des Arbeitsstoffes II und damit der an den Wärmetauscherteil 102 abgegebenen Wärmeleistung dienen. Vorzugsweise erfolgt also die Regelung der an den Wärmetauscherteil übertragenen Wärmeleistung über den Zusatz von Arbeitsstoff II, also mittels der Ventile 122, 124, während die Temperatur des Wärmeträgers in der Leitung 104 mittels des Dreiegehahns 106 geregelt wird.

030029/0122

Die Anlage kann schließlich dann nach Schließen der Ventile 70c und 72 und Öffnen des Regelventils 76c auf reinen Heizbetrieb umgeschaltet werden. Eine weitere Steigerung der Heizleistung ist durch Öffnen der Ventile 80 und 84 möglich, wie oben bereits erläutert worden war.

In der folgenden Tabelle sind einige Betriebsstoffsysteme für die Ausführungsform gemäß Fig. 2 aufgeführt:

Tabelle

Arbeitsstoff		Absorberstoff
I	II	
NH_3	NH_2CH_3	H_2O ;
NH_3	$\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_5$	Salze, wie LiBr , NaSCN , LiNO_3 , ZnCl_2 , die sich in den betreffenden Arbeitsstoffgemischen lösen, oder wässrige Lösungen dieser Salze;
NH_3	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	Glykole;
NH_2CH_3	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	Glykol-Salzmischungen (Salze wie oben)
CF_3Cl	CF_2Cl_2	Glykole
CH_3NH_2		Lösungen von Salzen, wie LiBr , NaSCN , LiNO_3 , ZnCl_2 , in den betreffenden Arbeitsstoffgemischen
$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$		
$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$	H_2O	
CH_3OH		
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$		

030029/0122

2856767

- 23 -

Die in der Tabelle aufgeführten Betriebsstoffsysteme
können auch bei der Ausführungsform gemäß Fig. 1 verwendet
werden.

030029/0122

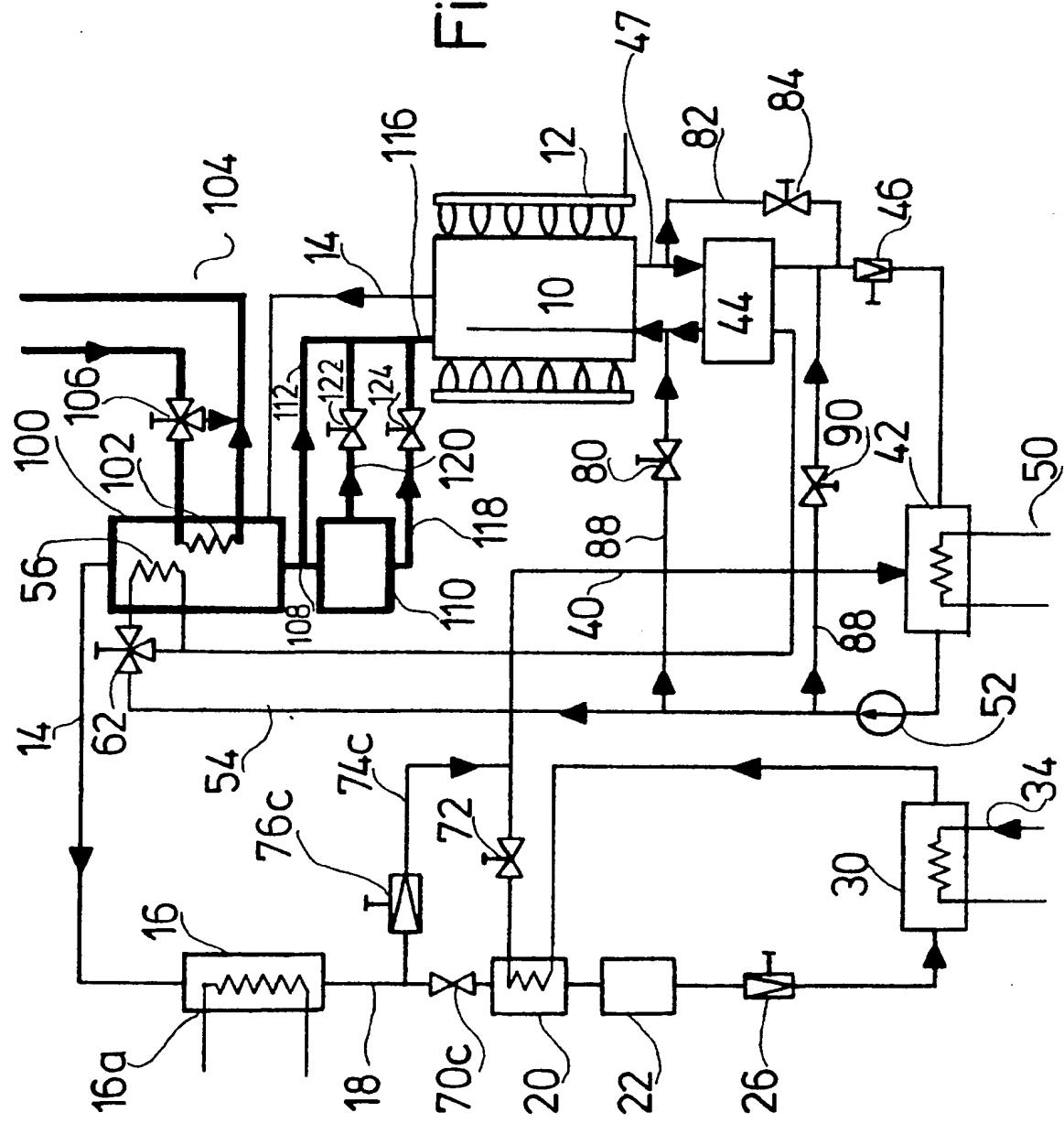
Nummer:
Int. Cl. 2:
Anmeld. tag:
Offenlegungstag:

28 56 767
F 24 D 11/02
29. Dezember 1978
17. Juli 1980

2856767 -25-

NA 1980 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 598 599 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 698 699 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 759 760 761 762 763 764 765 766 767 767 768 769 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 798 799 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 898 899 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 998 999 999 1000 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1039 1040 1041 1042 1043 1044 1045 1046 1047 1048 1049 1049 1050 1051 1052 1053 1054 1055 1056 1057 1058 1059 1059 1060 1061 1062 1063 1064 1065 1066 1067 1068 1069 1069 1070 1071 1072 1073 1074 1075 1076 1077 1078 1079 1079 1080 1081 1082 1083 1084 1085 1086 1087 1088 1089 1089 1090 1091 1092 1093 1094 1095 1096 1097 1098 1098 1099 1099 1100 1101 1102 1103 1104 1105 1106 1107 1108 1109 1109 1110 1111 1112 1113 1114 1115 1116 1117 1118 1119 1119 1120 1121 1122 1123 1124 1125 1126 1127 1128 1129 1129 1130 1131 1132 1133 1134 1135 1136 1137 1138 1139 1139 1140 1141 1142 1143 1144 1145 1146 1147 1148 1149 1149 1150 1151 1152 1153 1154 1155 1156 1157 1158 1159 1159 1160 1161 1162 1163 1164 1165 1166 1167 1168 1169 1169 1170 1171 1172 1173 1174 1175 1176 1177 1178 1179 1179 1180 1181 1182 1183 1184 1185 1186 1187 1188 1189 1189 1190 1191 1192 1193 1194 1195 1196 1197 1198 1198 1199 1199 1200 1201 1202 1203 1204 1205 1206 1207 1208 1209 1209 1210 1211 1212 1213 1214 1215 1216 1217 1218 1219 1219 1220 1221 1222 1223 1224 1225 1226 1227 1228 1229 1229 1230 1231 1232 1233 1234 1235 1236 1237 1238 1239 1239 1240 1241 1242 1243 1244 1245 1246 1247 1248 1249 1249 1250 1251 1252 1253 1254 1255 1256 1257 1258 1259 1259 1260 1261 1262 1263 1264 1265 1266 1267 1268 1269 1269 1270 1271 1272 1273 1274 1275 1276 1277 1278 1279 1279 1280 1281 1282 1283 1284 1285 1286 1287 1288 1289 1289 1290 1291 1292 1293 1294 1295 1296 1297 1298 1298 1299 1299 1300 1301 1302 1303 1304 1305 1306 1307 1308 1309 1309 1310 1311 1312 1313 1314 1315 1316 1317 1318 1319 1319 1320 1321 1322 1323 1324 1325 1326 1327 1328 1329 1329 1330 1331 1332 1333 1334 1335 1336 1337 1338 1339 1339 1340 1341 1342 1343 1344 1345 1346 1347 1348 1349 1349 1350 1351 1352 1353 1354 1355 1356 1357 1358 1359 1359 1360 1361 1362 1363 1364 1365 1366 1367 1368 1369 1369 1370 1371 1372 1373 1374 1375 1376 1377 1378 1379 1379 1380 1381 1382 1383 1384 1385 1386 1387 1388 1389 1389 1390 1391 1392 1393 1394 1395 1396 1397 1398 1398 1399 1399 1400 1401 1402 1403 1404 1405 1406 1407 1408 1409 1409 1410 1411 1412 1413 1414 1415 1416 1417 1418 1419 1419 1420 1421 1422 1423 1424 1425 1426 1427 1428 1429 1429 1430 1431 1432 1433 1434 1435 1436 1437 1438 1439 1439 1440 1441 1442 1443 1444 1445 1446 1447 1448 1449 1449 1450 1451 1452 1453 1454 1455 1456 1457 1458 1459 1459 1460 1461 1462 1463 1464 1465 1466 1467 1468 1469 1469 1470 1471 1472 1473 1474 1475 1476 1477 1478 1479 1479 1480 1481 1482 1483 1484 1485 1486 1487 1488 1489 1489 1490 1491 1492 1493 1494 1495 1496 1497 1498 1498 1499 1499 1500 1501 1502 1503 1504 1505 1506 1507 1508 1509 1509 1510 1511 1512 1513 1514 1515 1516 1517 1518 1519 1519 1520 1521 1522 1523 1524 1525 1526 1527 1528 1529 1529 1530 1531 1532 1533 1534 1535 1536 1537 1538 1539 1539 1540 1541 1542 1543 1544 1545 1546 1547 1548 1549 1549 1550 1551 1552 1553 1554 1555 1556 1557 1558 1559 1559 1560 1561 1562 1563 1564 1565 1566 1567 1568 1569 1569 1570 1571 1572 1573 1574 1575 1576 1577 1578 1579 1579 1580 1581 1582 1583 1584 1585 1586 1587 1588 1589 1589 1590 1591 1592 1593 1594 1595 1596 1597 1598 1598 1599 1599 1600 1601 1602 1603 1604 1605 1606 1607 1608 1609 1609 1610 1611 1612 1613 1614 1615 1616 1617 1618 1619 1619 1620 1621 1622 1623 1624 1625 1626 1627 1628 1629 1629 1630 1631 1632 1633 1634 1635 1636 1637 1638 1639 1639 1640 1641 1642 1643 1644 1645 1646 1647 1648 1649 1649 1650 1651 1652 1653 1654 1655 1656 1657 1658 1659 1659 1660 1661 1662 1663 1664 1665 1666 1667 1668 1669 1669 1670 1671 1672 1673 1674 1675 1676 1677 1678 1679 1679 1680 1681 1682 1683 1684 1685 1686 1687 1688 1689 1689 1690 1691 1692 1693 1694 1695 1696 1697 1698 1698 1699 1699 1700 1701 1702 1703 1704 1705 1706 1707 1708 1709 1709 1710 1711 1712 1713 1714 1715 1716 1717 1718 1719 1719 1720 1721 1722 1723 1724 1725 1726 1727 1728 1729 1729 1730 1731 1732 1733 1734 1735 1736 1737 1738 1739 1739 1740 1741 1742 1743 1744 1745 1746 1747 1748 1749 1749 1750 1751 1752 1753 1754 1755 1756 1757 1758 1759 1759 1760 1761 1762 1763 1764 1765 1766 1767 1768 1769 1769 1770 1771 1772 1773 1774 1775 1776 1777 1778 1779 1779 1780 1781 1782 1783 1784 1785 1786 1787 1788 1789 1789 1790 1791 1792 1793 1794 1795 1796 1797 1798 1798 1799 1799 1800 1801 1802 1803 1804 1805 1806 1807 1808 1809 1809 1810 1811 1812 1813 1814 1815 1816 1817 1818 1819 1819 1820 1821 1822 1823 1824 1825 1826 1827 1828 1829 1829 1830 1831 1832 1833 1834 1835 1836 1837 1838 1839 1839 1840 1841 1842 1843 1844 1845 1846 1847 1848 1849 1849 1850 1851 1852 1853 1854 1855 1856 1857 1858 1859 1859 1860 1861 1862 1863 1864 1865 1866 1867 1868 1869 1869 1870 1871 1872 1873 1874 1875 1876 1877 1878 1879 1879 1880 1881 1882 1883 1884 1885 1886 1887 1888 1889 1889 1890 1891 1892 1893 1894 1895 1896 1897 1898 1898 1899 1899 1900 1901 1902 1903 1904 1905 1906 1907 1908 1909 1909 1910 1911 1912 1913 1914 1915 1916 1917 1918 1919 1919 1920 1921 1922 1923 1924 1925 1926 1927 1928 1929 1929 1930 1931 1932 1933 1934 1935 1936 1937 1938 1939 1939 1940 1941 1942 1943 1944 1945 1946 1947 1948 1949 1949 1950 1951 1952 1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1959 1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1998 1999 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 2037 2038 2039 2039 2040 2041 2042 2043 2044 2045 2046 2047 2048 2049 2049 2050 2051 2052 2053 2054 2055 2056 2057 2058 2059 2059 2060 2061 2062 2063 2064 2065 2066 2067 2068 2069 2069 2070 2071 2072 2073 2074 2075 2076 2077 2078 2079 2079 2080 2081 2082 2083 2084 2085 2086 2087 2088 2089 2089 2090 2091 2092 2093 2094 2095 2096 2097 2098 2098 2099 2099 2100 2101 2102 2103 2104 2105 2106 2107 2108 2109 2109 2110 2111 2112 2113 2114 2115 2116 2117 2118 2119 2119 2120 2121 2122 2123 2124 2125 2126 2127 2128 2129 2129 2130 2131 2132 2133 2134 2135 2136 2137 2138 2139 2139 2140 2141 2142 2143 2144 2145 2146 2147 2148 2149 2149 2150 2151 2152 2153 2154 2155 2156 2157 2158 2159 2159 2160 2161 2162 2163 2164 2165 2166 2167 2168 2169 2169 2170 2171 2172 2173 2174 2175 2176 2177 2178 2179 2179 2180 2181 2182 2183 2184 2185 2186 2187 2188 2189 2189 2190 2191 2192 2193 2194 2195 2196 2197 2198 2198 2199 2199 2200 2201 2202 2203 2204 2205 2206 2207 2208 2209 2209 2210 2211 2212 2213 2214 2215 2216 2217 2218 2219 2219 2220 2221 2222 2223 2224 2225 2226 2227 2228 2229 2229 2230 2231 2232 2233 2234 2235 2236 2237 2238 2239 2239 2240 2241 2242 2243 2244 2245 2246 2247 2248 2249 2249 2250 2251 2252 2253 2254 2255 2256 2257 2258 2259 2259 226

Fig. 2



030029 / 0122